



(19) BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

(12) DE 100 22 151 A 1

(51) Int. Cl. 7:  
F 16 F 15/22

DE 100 22 151 A 1

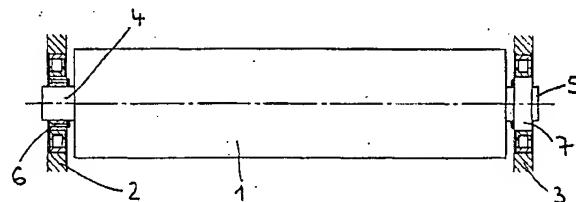
(21) Aktenzeichen: 100 22 151.3  
(22) Anmeldetag: 8. 5. 2000  
(43) Offenlegungstag: 15. 11. 2001

(71) Anmelder:  
Schenck RoTec GmbH, 64293 Darmstadt, DE

(72) Erfinder:  
Thelen, Dieter, Dr., 64397 Modautal, DE;  
Breitwieser, Matthias, 60326 Frankfurt, DE  
  
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:  
DE 197 08 409 A1  
DE 26 44 026 A1  
DE-GM 75 08 720  
WO 95 33 143 A1

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- (54) Verfahren und Vorrichtung zur Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen eines Rotors  
(57) Um das dynamische Verhalten von Rotoren zu verbessern, wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen vorgeschlagen, bei dem der Rotor (1) in Lagereinrichtungen (2, 3, 20, 21) gelagert wird, bei dem im Lagerbereich Mittel vorgesehen werden, mit denen eine Abweichung der Lagerung von der Kreisform kompensierbar ist, bei dem die Mittel an mehreren längs des Umfangs verteilten Stellen einstellbar sind, bei dem bei zumindest einem uneingestellten Mittel das Schwingungsverhalten vektoriell erfaßt wird, bei dem bei zumindest einem Mittel Einstellungen vorgenommen werden, bei dem das daraus resultierende Schwingungsverhalten vektoriell erfaßt wird und aus den erfaßten Werten vorzugsweise unter Heranziehung der Einflusskoeffizientenmethode die zur Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen erforderlichen Einstellungen des zumindest einen Mittels ermittelt werden.



DE 100 22 151 A 1

## Beschreibung

[0001] Im modernen Maschinenbau geht die Tendenz zu immer höheren Maschinenleistungen, verbünden mit höheren Drehzahlen und optimaler Werkstoffausnutzung. Durch treten dynamische Probleme in den Vordergrund, die bisher eine untergeordnete Rolle spielten. So sind bei der Konstruktion von Wellen, die mit hohen Drehzahlen betrieben werden, Schwingungsvorgänge wie Unwuchtschwüngeungen oder Biegeschwingungen besonders zu beachten. Biegeschwingungen sind besonders kritisch bei Wellen, die nahe einer biegekritischen Drehzahl betrieben werden. Hierzu gehören beispielsweise in der Papierherstellung benötigte Walzen, die als elastische Wellen zu betrachten sind. Schon bei gering anisotropen Walzen stellt man beim Erreichen der halben ersten biegekritischen Drehzahl starke Schwingungsaktivitäten mit der doppelten Umlauffrequenz fest. Dieses Phänomen ist in der Rotordynamik als sogenannte "Gewichtskritische" bekannt. Ursache ist die Schwankung des Gewichtsdurchhangs der Welle mit dem zweifachen der Wellenumlauffrequenz.

[0002] Der internationalen Offenlegung WO-A1-95/33143 ist zu entnehmen, dass langgestreckte Rotoren im allgemeinen eine Elliptizität aufweisen selbst nach einer erfolgreichen Ausrichtung. Auch die Elliptizität ist mitursächlich für die Schwingungsaktivitäten mit der doppelten Umlauffrequenz. Nach dieser Veröffentlichung ist die Elliptizität in der Mitte des Rotors am größten und nimmt zu den Enden hin proportional zum Durchhang ab. Die deutsche Offenlegung DE-A1-197 08 409 offenbart Verfahren, mit denen die Schwingungsaktivitäten mit doppelter Umlauffrequenz anhand der Rotordaten und einer mathematischen Modellbildung gravierend vermindert werden können.

[0003] Mit den bekannten Maßnahmen lässt sich jedoch das unerwünschte Schwingungsverhalten nicht in allen Fällen im erforderlichen Umfang reduzieren, da nur Rotorbereiche zwischen den Lagerungen Berücksichtigung finden.

[0004] Der Erfundung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen eine hinreichende Verminderung doppelt umlauffreuer Schwingungen bewirkt wird und mit denen das dynamische Verhalten des Rotors verbessert wird.

[0005] Erfundungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen der Patentansprüche 1 und 4 gelöst.

[0006] Der Erfundung liegt die erstmalige Erkenntnis zugrunde, dass mitursächlich für doppelt umlauffreue Schwingungen auch die Lagerverhältnisse des Rotors sind, dass also das Gesamtsystem Rotor und Rotorlagerung zu betrachten ist. Bisher war man stets davon ausgegangen, dass aufgrund der sehr hohen Bearbeitungsgüte der Lagerstellen Einflüsse auf das doppelt umlauffreue Schwingungsverhalten nicht vorlagen.

[0007] Erfundungsgemäß werden im Lagerbereich Mittel vorgesehen und verwendet, mit denen Abweichungen der Lagerung von der Kreisform kompensierbar sind. Hierzu werden z. B. diametral gegenüberliegende Bereiche der Lagerung so verändert, dass das doppelt umlauffreue Schwingungsverhalten verbessert bzw. die 2f-Schwingungsamplitude deutlich verringert wird. Es können so auch Rotoren, insbesondere Papierwalzen, die trotz sorgfältigster Bearbeitung ein nicht tolerierbares doppelt umlauffreue Schwingungsverhalten zeigen und die deshalb zum Ausschuss zählen würden, noch weiterverwendet werden, was die Einsparung der erheblichen Fertigungskosten für den Rotor zur Folge hat. Die Kosten, die für die erfundungsgemäße Ausbildung anfallen, sind verschwindend gering im Vergleich zu den Fertigungskosten z. B. einer Papierwalze. Die Erfundung kann sowohl bei in Wälz- oder Gleitlagern

gelagerten Rotoren als auch bei in Tragrollen gelagerten Rotoren Anwendung finden. Bei wälz- oder gleitgelagerten Rotoren können die Mittel vorteilhaft als separate Bauteile wie z. B. Verformungsringe zwischen Rotor und Lager, insbesondere zwischen Rotor und Innenring eines Wälzlagers vorgesehen werden, sie können aber auch am Rotor selbst angeformt sein.

[0008] Bei Rotoren in Tragrollen wird erfundungsgemäß ein Einstellmittel zwischen den Tragrollen und der Tragrolle abstützung vorgesehen, mit dem die Drehachse der Tragrolle gegenüber der Tragrollenabstützung gesteuert bewegbar ist.

[0009] Das Mittel kann beispielsweise eine piezoelektrische oder magnetostruktive oder auch eine elektrohydraulische oder elektromechanische Verstelleinrichtung aufweisen. Da nur Ovalitäten von wenigen  $\mu\text{m}$ , die allerdings eine Schwingungsamplitude im mm-Bereich zur Folge haben können, kompensiert werden müssen, können die Mittel sehr einfach aufgebaut sein, beispielsweise als Verformungsring mit Einstellung über Schraubenanordnungen.

[0010] Eine besonders einfache Ausgestaltung der Erfundung sieht vor, dass der Rotor über Lagerzapfen gelagert ist und die Mittel als separate Bauteile zwischen Lagerzapfen und Lagereinrichtung angeordnet sind.

[0011] In vorteilhafter Weise ist bei einer Weiterbildung der Erfundung vorgesehen, dass als Mittel ein auf dem Lagerzapfen befestigter Verformungsring vorgesehen ist, der über den Umfang verteilte Ausnehmungen zur Aufnahme von Verstellmitteln aufweist, mit denen der Durchmesser des Verformungsringes an zugeordneten Umfangsbereichen einstellbar ist, da hier einfache mechanische Mittel zur Kompensierung eventueller Ovalitäten zum Einsatz kommen.

[0012] Weiterbildungen und vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfundung sind Gegenstand weiterer Unteransprüche.

[0013] Die Erfundung wird im folgenden anhand von in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert.

[0014] Es zeigen:

[0015] Fig. 1 einen langgestreckten Rotor mit Lagerung

[0016] Fig. 2a einen Verformungsring im Schnitt

[0017] Fig. 2b den Verformungsring nach Fig. 2a in Seitenansicht

[0018] Fig. 3 einen Lagerzapfen des Rotors mit Druckmitteltaschen

[0019] Fig. 4 ein Ablaufschema des erfundungsgemäßen Verfahrens

[0020] Fig. 5 eine Bahnkurve des Rotormittelpunkts

[0021] Fig. 6 einen Rotor in Tragrollenlagerung

[0022] Die Fig. 1 zeigt einen langgestreckten Rotor 1, beispielweise eine in der Papierherstellung eingesetzte Walze, in schematischer Darstellung in seinen Lagereinrichtungen 2, 3. Der Rotor 1 weist in seinen Lagerbereichen Lagerzapfen 4, 5 auf, mit denen er in den nicht näher dargestellten Lagereinrichtungen 2, 3 gelagert ist. Auf beiden Lagerzapfen 4, 5 des Rotors 1 ist jeweils ein als Verformungsring 6, 7 ausgebildetes Mittel angeordnet, mit dem eine mögliche Abweichung der Lagerzapfengeometrie von der Kreisform kompensierbar ist. Der Verformungsring 6, 7 ist in den Fig.

[0023] 2a und 2b näher dargestellt und weist eine Vielzahl von äquidistant längs des Umfangs angeordneten Ausnehmungen 10, im Beispiel zwölf Ausnehmungen 10 auf, die als gestufte Durchgangsbohrungen ausgebildet sind. In die Durchgangsbohrungen sind Schrauben 11 eingesetzt, deren Kopf im Abschnitt der Stufenbohrung mit größerem Durchmesser angeordnet ist und an deren Enden Spannmuttern 12 angeordnet sind. Durch Anziehen der Spannmuttern 12 erfolgt eine Kompression des Verformungsrings 6, 7 in axialer

Richtung und daraus resultierend eine elastische Verformung mit Durchmesservergrößerungen im Schraubenbereich. Durch gleichmäßiges Anziehen zumindest zweier diametral gegenüberliegender Schraubanordnungen und abgestimmtes Anziehen der beiderseits der jeweiligen Schraubanordnungen angeordneten benachbarten Schraubanordnungen lässt sich bei Bedarf eine elliptische Verformung der Außenkontur des Verformungsringes 6, 7 erzielen, wie dies durch die strichpunktiierte Außenkontur in Fig. 2b angedeutet ist, die sich einer durch das Aufziehen bzw. Aufschrumpfen des Verformungsringes 6, 7 auf den Lagerzapfen 4, 5 mit möglicherweise ovalem Querschnitt ergebenden elliptischen Verformung der Außenkontur des Verformungsringes 6, 7 überlagert, so dass im Endeffekt eine kreisförmige Außenkontur des Verformungsringes 6, 7 einstellbar ist, mit dem der Rotor 1 dann konzentrisch zu den Lagereinrichtungen 2, 3 gelagert ist. Auf dem Verformungsring 6, 7 kann dabei direkt der Innenring eines Wälzlagers sitzen, falls eine Wälzlagerung zum Einsatz kommt. Anstelle einer Kompression des Verformungsringes 6, 7 mittels Zugverschraubung kann jedoch auch eine Dehnung des Verformungsringes durch Druckschrauben vorgenommen werden, was zu einer Durchmesserreduzierung im Schraubenbereich führt. Es können ferner auch beide Methoden gemeinsam angewendet werden.

[0023] Anstelle der Verformung des Verformungsringes 6, 7 mittels Schraubanordnungen kann die Verformung auch mit Hilfe von nicht näher dargestellten Keilanordnungen erfolgen, die beispielsweise aus zwei axial gegeneinander verschiebbaren Teilelementen bestehen, deren axiale Verschiebung gegeneinander zu einer Vergrößerung der Abmessung in radialer Richtung führt.

[0024] Eine weitere Verformungsmöglichkeit ist in Fig. 3 schematisch dargestellt. Hier sind im Rotorzapfen 4, 5 in Längsrichtung sich erstreckende Fluidtaschen 15 vorgesehen, von denen beispielsweise zwölf längs des Umfangs vorgeschen sind. Durch gezielte Druckbeaufschlagung der Fluidtaschen 15 lässt sich die gewünschte Verformung einstellen.

[0025] Es liegt im Rahmen der Erfindung, für die gewünschten Verformungen auch magnetostriktive oder piezoelektrische Elemente einzusetzen. Die Anordnung erfolgt prinzipiell wie im vorhergehenden näher beschrieben.

[0026] Bei einer in Fig. 6 schematisch dargestellten Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Lagerung des Rotors 1 mit seinen Lagerzapfen 4, 5 jeweils auf zwei Tragrollen 20, 21, die ihrerseits an einer Tragrollenabstützung 25 abgestützt sind. Die Achsen der Tragrollen 20, 21 können in nicht näher dargestellter Weise gegenüber ihrer Abstützung 25 mittels einer durch einen Doppelpfeil angedeuteten Verstelleinrichtung 22, 23 kontinuierlich so verstellt werden, dass eine eventuelle Ovalität des Rotorzapfens 4, 5 kompensiert wird, d. h., dass die Position des Mittelpunkts des Rotorzapfens 4, 5 im Raum während einer Umdrehung des Rotors 1 unverändert ist.

[0027] In Fig. 5 ist schematisch die über je einen Aufnehmer in horizontaler H und vertikaler Richtung V ermittelte elliptische Bahnkurve 30 des Rotormittelpunkts in der Mitte zwischen den Lagerbereichen dargestellt, die aus einer Lagerovalität resultiert. Um eine Kreisform dieser Bahnkurve 30 zu erzielen, wendet man das erfundungsgemäße Verfahren an, das in Fig. 4 schematisch angedeutet ist und nachfolgend näher erläutert wird.

[0028] Zunächst wird das Schwingungsverhalten des in den Lagereinrichtungen 2, 3 gelagerten Rotors 1, das bei nicht eingestellten bzw. nicht verstellten Mitteln 6, 7 vorliegt, über einen Aufnehmer 40 in horizontaler Richtung und einen nicht näher dargestellten Aufnehmer in vertikaler

Richtung zur Erfassung der Schwingungsauslenkung des Rotors 1 erfasst und das Drehverhalten des Rotors 1 mit Hilfe eines Abtastkopfs 41 zur Erfassung einer Abtastmarke 42 am Rotor 1 ermittelt. Die zugehörige doppelt umlauffrequente Mittenauslenkung ist in Fig. 4 oben rechts dargestellt. Sodann wird zumindest ein Mittel 6, 7 verstellt und das sich ergebende Schwingungsverhalten und Drehverhalten erfasst. Mit der Einflusskoeffizienten-Methode, die auf dem Gebiet der Auswuchstechnik häufig eingesetzt wird, 10 werden aus den im Messwerterfassungs- und -auswertegerät 43 ermittelten vektoriellen Schwingungswerten die zur Einstellung der Mittel erforderlichen Verstellwerte ermittelt, beispielsweise die Anzugsmomente der über dem Verformungsring 6, 7 verteilten Schraubanordnungen. Damit wird erreicht, dass die sich aus einer eventuellen Ovalität des Lagerzapfens 4, 5 ergebenden Verformungen der Außenkontur des Verformungsringes 6, 7 und die aus der gezielten Kompression sich ergebenden Verformungen der Außenkontur sich gegenseitig kompensieren und die 2f-Mittenauslenkung wie aus Fig. 4 rechts unten ersichtlich entscheidend verringert ist.

[0029] Bei einer Lagerung in Tragrollen 20, 21 werden in dem Messwerterfassungs- und -auswertegerät 43 die zur Verstellung der Tragrollenlagerung erforderlichen Werte ermittelt und weiter verarbeitbar zur Verfügung gestellt, beispielsweise der Verstelleinrichtung 22, 23 für die Tragrollen 20, 21.

[0030] Es liegt im Rahmen der Erfindung die Einstellungen der Mittel zur Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen unter Heranziehung von Messwerten der Lagergeometrie vorzunehmen. Hierzu wird in nicht näher dargestellter Weise die Geometrie des Querschnitts der Lagerung ausgemessen, beispielsweise mittels einer berührungslosen optischen Abtastung des Querschnitts längs des Umfangs. Es können beispielsweise die Lagerzapfen-Querschnitte bzw. die Außenkontur der Lagerzapfen eines in Lagerzapfen gelagerten Rotors bestimmt werden, aber auch der Querschnitt bzw. die Außenkontur der auf dem Rotor befestigten Mittel wie z. B. der Verformungsringe. Die Meßeinrichtung kann im jeweiligen Lagerbereich angeordnet sein oder auch als wegnehmbare Meßeinrichtung ausgebildet sein.

#### Patentansprüche

1. Verfahren und Vorrichtung zur Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen eines in Lagereinrichtungen (2, 3, 20, 21) gelagerten Rotors (1), bei dem im Lagerbereich Mittel vorgesehen werden, mit denen eine Abweichung der Lagerung von der Kreisform kompensierbar sind, bei dem die Mittel an mehreren längs des Umfangs verteilten Stellen einstellbar sind, bei dem bei zumindest einem uneingestellten Mittel das Schwingungsverhalten vektoriell erfasst wird, bei dem bei zumindest einem Mittel Einstellungen vorgenommen werden, vorzugsweise in diametralen Bereichen symmetrische Einstellungen, bei dem das daraus resultierende Schwingungsverhalten vektoriell erfasst wird und aus den erfassten Werten vorzugsweise unter Heranziehung der Einflusskoeffizientenmethode die zu Verringerung der doppelt umlauffrequenten Schwingungen erforderlichen Einstellungen des zumindest einen Mittels ermittelt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass separate Mittel zwischen Rotor (1) und Lagereinrichtung (2, 3) angeordnet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mittel am Rotor (1) und/oder an der La-

gereinrichtung (2, 3, 20, 21) vorgesehen werden.

4. Vorrichtung zur Verringerung der doppelt umlauf-frequenten Schwingungen eines in Lagereinrichtungen (2, 3, 20, 21) gelagerten Rotors (1) mit Mitteln, mit de-nen Abweichungen der Lagerungen von der Kreisform kompensierbar sind, die an mehreren längs des Umfangs verteilten Stellen einstellbar sind, und bei der eine Einstellung unter Heranziehung des Schwin-gungsverhaltens des Rotors (1) oder unter Heranzie-hung der Meßwerte der Lagergeometrie, vorzugsweise der Querschnittsgeometrie der Lagerzapfen eines über Lagerzapfen gelagerten Rotors, vorgesehen ist. 5

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekenn-zeichnet, dass ein Abtastkopf (41) zur Abtastung einer Rotormarke (42) und zumindest ein Aufnehmer (40) 15 zur Erfassung der Schwingungsauslenkung des Rotors (1) vorgesehen sind, die mit den Eingängen eines Meß-wertfassungs- und -auswertgerätes (43) verbunden sind, das ausgangsseitig Daten zur Einstellung der Kompensationsmittel weiter verarbeitbar zur Verfü- 20 gung stellt.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekenn-zeichnet, dass zur Ausmessung der Lagergeometrie eine berührend oder berührungslos arbeitende vorzugs-weise wegnehmbare Meßeinrichtung vorgesehen ist. 25

7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass längs des Umfangs der Lagerung Einstellmittel vorge-sehen sind, mit denen der Durchmesser des Lagerbe-reichs längs des Umfangs veränderbar ist. 30

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Einstellmittel mechanische, piezoelektrische oder magnetostriktive Einrichtungen oder fluidbeauf-schlagte Einrichtungen vorgesehen sind. 35

9. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) über Lagerzapfen (4, 5) gelagert ist und die Mittel am Lagerzapfen (4, 5) angeformt sind.

10. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) über Lagerzapfen (4, 5) gelagert ist und die Mittel als separate Bauteile zwischen Lagerzapfen (4, 5) und Lagereinrichtung (2, 3) angeordnet sind. 40

11. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Mittel ein auf dem Lagerzapfen (4, 5) befestigter Verformungsring (6, 7) vorgesehen ist, der über den Umfang verteilte Ausnehmungen (10) zur Aufnahme von Einstellmitteln (11) aufweist, mit denen der Durch-messer des Verformungsrings (6, 7) an zugeordneten Umfangsbereichen einstellbar ist. 45

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekenn-zeichnet, dass als Einstellmittel Schraubanordnungen (11, 12) oder Keilanordnungen zur radialen Verfor-mung von Ringbereichen vorgesehen sind. 55

13. Vorrichtung nach einem oder mehreren der vorher-gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (1) in Tragrollen (20, 21) gelagert ist und die Mittel durch die Tragrollen (20, 21) gebildet sind. 60

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekenn-zeichnet, dass Einstellmittel (22, 23) zwischen Trag-rolle (20, 21) und Tragrollenabstützung (25) vorgese-hen sind. 65

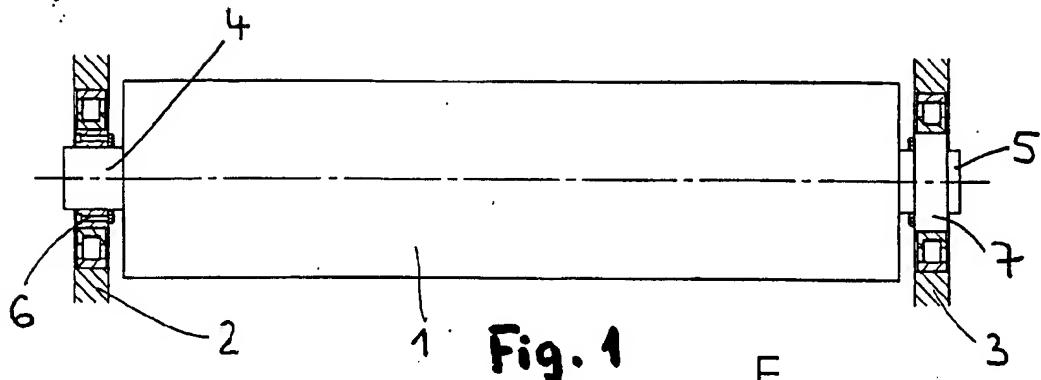


Fig. 1

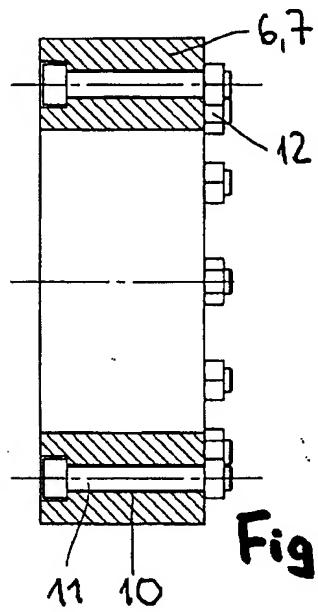


Fig. 2a

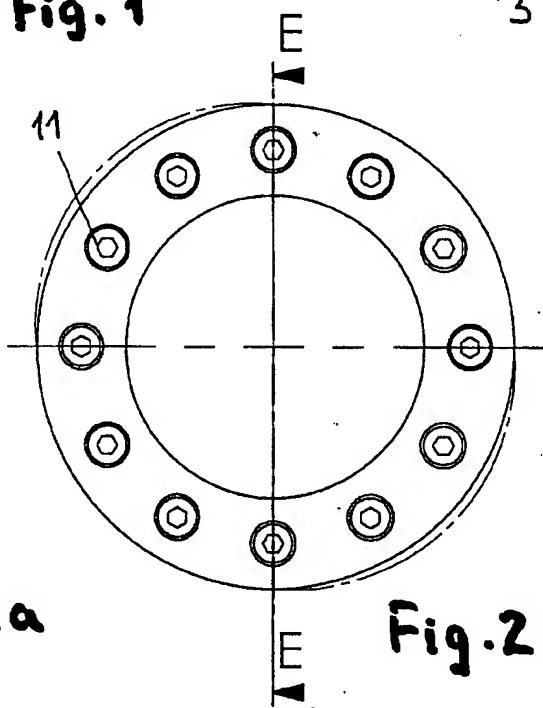


Fig. 2b

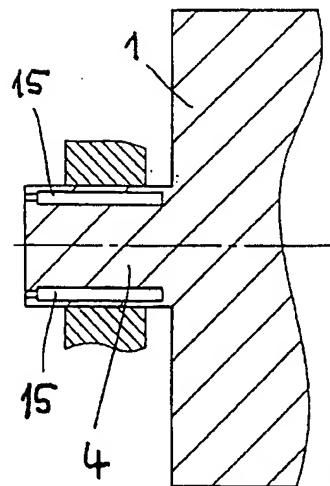


Fig. 3

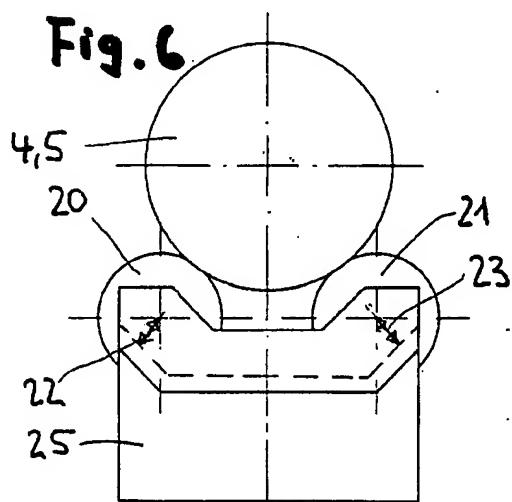
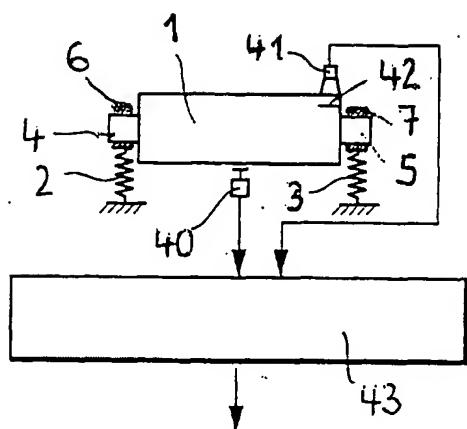


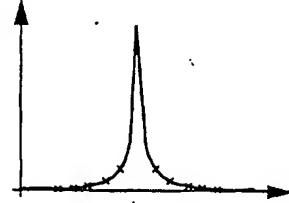
Fig. 6



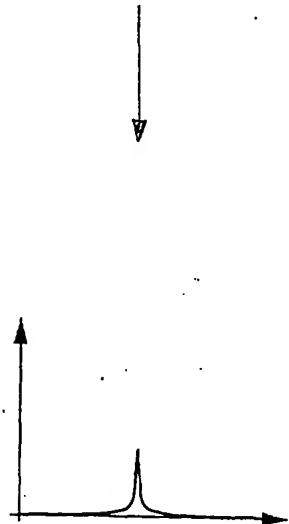
Lagereinstellwerte  
über Einfluss-  
koeffizienten-  
methode

Einstellung zur  
Lagerverformung

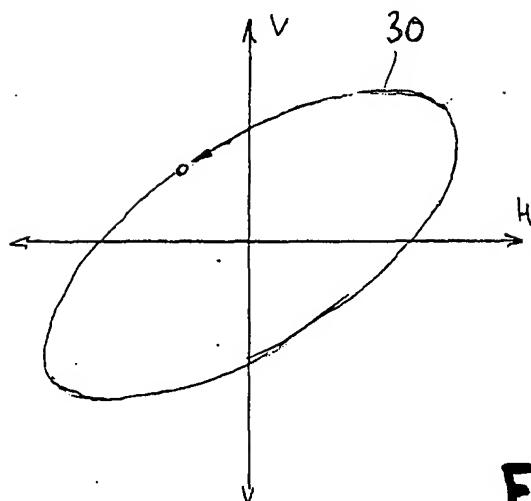
2f - Mittenaus-  
lenkung vor der  
Lagereinstellung



2f - Mittenaus-  
lenkung nach der  
Lagereinstellung



**Fig. 4**



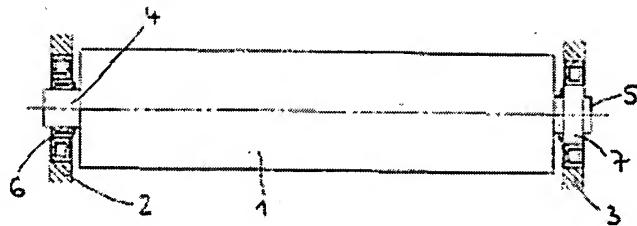
**Fig. 5**

## Bearing adjustment system for high speed paper manufacturing machine

**Patent number:** DE10022151  
**Publication date:** 2001-11-15  
**Inventor:** THELEN DIETER (DE); BREITWIESER MATTHIAS (DE)  
**Applicant:** SCHENCK ROTEC GMBH (DE)  
**Classification:**  
- **international:** F16F15/22  
- **European:** F16F15/22, D21G1/00R4, D21G1/02C  
**Application number:** DE20001022151 20000508  
**Priority number(s):** DE20001022151 20000508

### Abstract of DE10022151

A machine has a high speed shaft resting within a number of bearings whose position may be adjusted to minimise deviations from the perfect circular track. Each bearing has a detector which registers vectorial deviation from the norm and has an adjustment system which, using a pre-calculated coefficient, effects a correction which is valid for operation at higher speeds.



Data supplied from the **csp@cenet** database - Worldwide